

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-036186

(43)Date of publication of application : 07.02.1997

(51)Int.Cl.

H01L 21/60

H01L 21/60

H01L 25/07

H01L 25/18

(21)Application number : 07-187446

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 24.07.1995

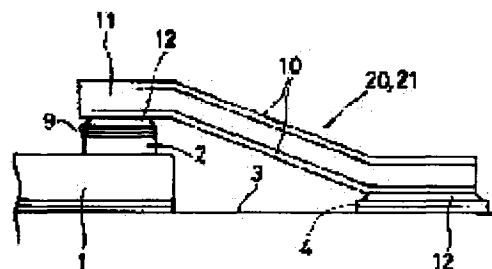
(72)Inventor : KOIZUMI MASAHIRO
KAJIWARA RYOICHI
TAKAHASHI KAZUYA
TAKAHASHI TOSHIYUKI

(54) POWER SEMICONDUCTOR MODULE AND ITS MOUNTING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable a power semiconductor module to be improved in yield, lessened in time required for assembly in an assembly process, and decreased in electrical resistance between an element and an electrode in a conventional intra-chip layout and to provide a mounting structure which ensures the power semiconductor module of a long-term reliability in a practical environment where joints between members comprised in the power semiconductor module are subjected to a temperature cycling load.

SOLUTION: An insulating board 3 is provided onto a heat slinger, a silicon semiconductor chip 1 is provided thereon, and an electrode 4 on the insulating board 3 is connected to a pad 2 located on the semiconductor chip 1 with conductors 20 and 21 for the formation of a power semiconductor module, wherein the conductors 20 and 21, the pad 2, and the electrode 4 are bonded together with a solder 12, and a thermal expansion coefficient difference between the conductors 20 and 21 and the heat slinger, the insulating board 3, and the silicon substrate 1 is set below $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ respectively.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-36186

(43) 公開日 平成9年(1997)2月7日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/60	3 2 1		H 0 1 L 21/60	3 2 1 E
	3 1 1			3 1 1 S
25/07			25/04	C
25/18				

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願平7-187446	(71) 出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(22) 出願日	平成7年(1995)7月24日	(72) 発明者	小泉 正博 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株 式会社日立製作所日立研究所内
		(72) 発明者	梶原 良一 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株 式会社日立製作所日立研究所内
		(72) 発明者	高橋 和弥 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株 式会社日立製作所日立研究所内
		(74) 代理人	弁理士 平木 祐輔

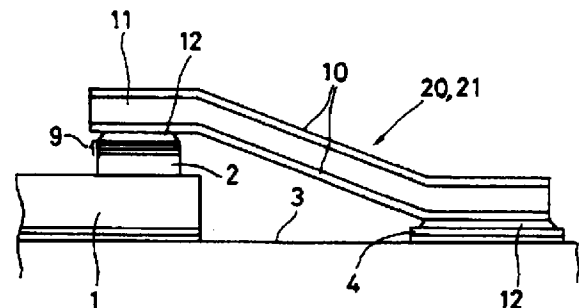
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パワー半導体モジュール及びその実装方法

(57) 【要約】

【目的】 パワー半導体モジュールの組立て工程の歩留まり向上及び時間短縮並びに従来と同様のチップ内レイアウト構成で、素子／電極間の電気抵抗を下げ、かつモジュールを構成する各部材間の接合部が温度サイクル負荷が加わる実使用環境下において、長期に渡る信頼性を保証できる実装構造を提供する。

【構成】 放熱板上に絶縁基板3が設けられ、その上にシリコン半導体チップ1が設けられ、絶縁基板3上の電極4と半導体チップ1上のパッド2とを導体20、21で接続して成るパワー半導体モジュールにおいて、導体20、21とパッド2及び電極4とは半田12によって接合され、導体20、21は放熱板、絶縁基板3及びシリコン基板1との熱膨張率の差をいずれも 10×10^{-6} /℃以下とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 放熱板と、前記放熱板上に固着された複数の電極を備える絶縁基板と、前記絶縁基板の電極上に固着されたシリコン半導体チップとを含み、前記絶縁基板のシリコン半導体チップが固着されていない電極と前記シリコン半導体チップ上の複数のパッドとを導体で接続して成るパワー半導体モジュールにおいて、前記導体とパッド及び電極とは半田によって接合され、前記導体は前記絶縁基板及びシリコンとの熱膨張率の差がいずれも $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下であることを特徴とするパワー半導体モジュール。

【請求項2】 放熱板と、前記放熱板上に固着された複数の電極を備える絶縁基板と、前記絶縁基板の電極上に固着されたシリコン半導体チップとを含み、前記絶縁基板のシリコン半導体チップが固着されていない電極と前記シリコン半導体チップ上の複数のパッドとを導体で接続して成るパワー半導体モジュールにおいて、前記導体とパッド及び電極とは半田によって接合され、前記導体は前記放熱板、絶縁基板及びシリコンとの熱膨張率の差がいずれも $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下であることを特徴とするパワー半導体モジュール。

【請求項3】 前記導体は、低膨張率の金属と高導電性の金属とのクラッド材であることを特徴とする請求項1又は2記載のパワー半導体モジュール。

【請求項4】 前記低膨張率の金属はMo、Wの群から選ばれた金属であり、前記高導電性の金属はCu、Al、Au、Agの群の中から選ばれた金属であることを特徴とする請求項3記載のパワー半導体モジュール。

【請求項5】 前記導体は、低膨張率の金属と高導電性の金属との複合材であることを特徴とする請求項1又は2記載のパワー半導体モジュール。

【請求項6】 前記低膨張率の金属はMo、Wの群から選ばれた金属であり、前記高導電性の金属はCu、Al、Au、Agの群の中から選ばれた金属であることを特徴とする請求項5記載のパワー半導体モジュール。

【請求項7】 前記導体は、低膨張率の金属に高導電性の金属がメッキされたものであることを特徴とする請求項1又は2記載のパワー半導体モジュール。

【請求項8】 前記低膨張率の金属はMo、Wの群から選ばれた金属であり、前記高導電性の金属はCu、Al、Au、Agの群の中から選ばれた金属であることを特徴とする請求項5記載のパワー半導体モジュール。

【請求項9】 前記導体は、セラミックに高導電性の金属がメタライズされたものであることを特徴とする請求項1又は2記載のパワー半導体モジュール。

【請求項10】 前記導体は、前記シリコン半導体チップ上の複数のパッドに接続される側が個々のパッドに対応して複数の部分に分離され、共通の電極に接続される側が一体化されていることを特徴とする請求項1～9のいずれか1項記載のパワー半導体モジュール。

【請求項11】 前記パッドの上に金属膜が形成されて成ることを特徴とする請求項1～10のいずれか1項記載のパワー半導体モジュール。

【請求項12】 前記金属膜は、Cr、Ni、AgもしくはTi、Ni、Auの3層、又はNi、Ti、Ni、Auの4層から成ることを特徴とする請求項11記載のパワー半導体モジュール。

【請求項13】 前記導体は、熱歪を緩和する形状を有することを特徴とする請求項1～12のいずれか1項記載のパワー半導体モジュール。

【請求項14】 請求項1～13のいずれか1項に記載されたパワー半導体モジュールの製造方法において、放熱板への絶縁基板の固着、絶縁基板の電極へのシリコン半導体チップの固着、並びに絶縁基板の電極及びシリコン半導体チップ上の複数のパッドと導体との接合をすべて半田により1回の工程で行うことを特徴とするパワー半導体モジュールの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、パワー半導体モジュールに関し、特に各接合部に発生する熱応力を低減したパワー半導体モジュールの実装構造ならびに実装方法に関する。

【0002】

【従来の技術】パワー半導体モジュールは、各種モーターの制御、電力変換機及び無停電電源等広範囲に使用されている。近年、IGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）デバイスの大容量化に伴い、従来サイリスタが使用されていた領域にもIGBTモジュールが適用されつつある。例えば、車両用のインバータ装置は、低騒音、小型化及び高性能化の要求により、従来のサイリスタに代わりIGBTモジュールの適用が各所で検討されている。

【0003】図13は従来のパワー半導体モジュールの構造の概略図であり、(a)は平面図、(b)は側面図である。図において1はシリコン半導体チップ、2は半導体チップ上に形成されたアルミニウムパッド、3は絶縁基板、4は絶縁基板上に形成されたNi/Cu層として設けられた電極、5はアルミニウムパッドと電極とを接続するために使用されたアルミニウムワイヤ、6は半導体素子と電極とを接合するために使用された半田、7は放熱板、8は絶縁基板と放熱板とを接合するために使用された半田である。

【0004】次に、従来のモジュールの組立て工程について説明する。シリコン半導体チップ1を絶縁基板3上の電極4に半田6を用いて接合する。接合は専用治具を用い、半導体チップと電極4の間に半導体チップとほぼ同形状の薄いスズが主成分の半田6を置き、水素等の非酸化性雰囲気中において加熱し、半田を熔融させて両者を接合する。次いで半導体チップ上に形成されたアルミ

ニウムパッド2と電極4とを太いアルミニウムワイヤ5を用い、ワイヤボンディングによって接続する。ワイヤボンディングは、アルミニウムワイヤにツールを介して、大きな荷重と超音波を印加することによってワイヤならびに接合する相手材を変形させ、両者の酸化膜を除去し互いに清浄な新生面を露出させる原理で接合するものである。最後に、この絶縁基板3を、半田8を用いて放熱板7に接合する。接合は、前述の半導体チップ1と絶縁基板3との接合同様の方法で行われるが、半導体チップ1と絶縁基板3との間にある半田6が溶融しないように、半導体チップの接合に使用された半田6よりも融点が高い半田8が使用される。

【0005】パワー半導体モジュールは、大電流を通電するため半導体チップの発熱が著しく、この発熱に伴いモジュール全体の温度が上昇する。そのため各接合部には部材間の熱膨張率の相違に基づいて熱応力が発生し、この熱応力により接合界面が破壊するという問題がある。従来、絶縁基板と半導体チップとの接合部の信頼性を高めることを主として検討されてきたが、半導体チップ上のパッドと電極との接続構造に関する検討は不十分であった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】パワー半導体モジュールは、大電流をオン、オフするため温度の上下変動が著しく、各接合部には部材間の熱膨張率の相違に基づいて発生する熱応力に対する高い信頼性が要求される。従来、半導体チップと絶縁基板との接合部は、半導体チップの熱膨張率に近い絶縁基板が適用され熱応力の軽減が図られているが、半導体チップ上のパッド並びに電極と導体との接合部に作用する熱応力については検討されていない。IGBTモジュール等のパワー半導体モジュールの半導体チップ上のパッドと電極との接続は、前述のように導体としてアルミニウムワイヤが用いられ、接続の方法はワイヤボンディングで行われている。

【0007】接続方法としてワイヤボンディングを用いること及び導体としてアルミニウムを用いることに関しては、以下の大きな問題がある。一つは、半導体チップ上のパッドに接合されたワイヤボンディング部並びに絶縁基板上の電極との接合部が、長期にわたる温度の上下変動によって劣化剥離するという問題である。モジュールは車両の走行状態に応じて、温度の上昇、下降のサイクルを受ける。この温度サイクルによって、シリコン半導体チップ並びに絶縁基板(Al_2N_3)の熱膨張率とアルミニウムの熱膨張率が大きく異なることに起因して、両者の接合面寸法と比例した熱歪が接合界面に発生する。パッド及び電極とワイヤの接合部には、接合界面外周部に沿ってクラック先端と同様の鋭い切欠きが不可避免的に形成されており、熱歪によって発生した熱応力がこの切欠き先端に集中的に加わって、温度の上下動と共にクラックが発生する。切欠き先端の応力集中部に発生す

る応力がアルミニウムの破壊強度より小さければ、クラックは発生せず、長期信頼性も保証される。しかし、実製品で使用されているような直径 $200\mu m$ 以上の太線のワイヤボンディング部では、必ずクラックが発生する。クラックの発生を防ぐためには、アルミニウムワイヤの線径を細くし本数を増やせばよいが、半導体チップ面積の増加やボンディング時間の増大によるコストの上昇を招く。

【0008】二つ目は、ワイヤボンディングの際に発生する半導体チップの損傷である。ボンディング部の温度サイクルに対する寿命を伸ばすためには、ワイヤを強固に接合する必要がある。そのためには大きなパワーと荷重でボンディングするが、この時、パッド下の絶縁層を破壊し、絶縁耐圧が低下するという問題が発生する。三つ目は、従来のワイヤによる接続では配線の電気抵抗を低減することが困難なため、パワー半導体モジュールの通電容量の増加に対応できないことである。すなわち、電気抵抗を低減するには、ワイヤ径の増大及び低抵抗の銅ワイヤを用いる方法があるが、太線ではボンディングの際により大きなパワーが必要であり、銅ワイヤの場合では硬いためにいずれも前述の半導体チップの損傷が発生する。

【0009】四つ目は、ワイヤボンディングの工程があるために、全体の組立て工程に時間がかかり、それに伴ってコストが上昇し、また以下に述べる工程の複雑さのために歩留まりが低下することである。すなわち、前述したようにモジュールの組立て工程は、主として(1)絶縁基板への半導体チップの接合、(2)ワイヤボンディング、(3)放熱板への絶縁基板の接合の3工程で行われている。(1)及び(3)の接合は半田を用いて行われるが、(1)の接合の時には、(3)の接合の場合より融点の高い半田が用いられている。したがって、特に(3)の接合の際には、極めて慎重な温度管理が必要とされるが、制御が困難なため接合後の半田にボイドが発生し、接合部が短時間で劣化、剥離するという問題が発生する。しかし、半導体チップの接合と放熱板への絶縁基板の接合を1回の工程で行い、その後ワイヤボンディングをする方法は採用できない。これは、放熱板には複数の絶縁基板を接合するため、外形が大きくなり過ぎてワイヤボンディングの可動範囲を越えることと、ワイヤボンディングで不良が発生するとそのモジュール全てが不良になるため、歩留まりが非常に低下してしまうからである。

【0010】従来、半導体チップと電極との接続方法には、ワイヤボンディングの他にLSIの分野ではワイヤを使用しないTAB(Tape-Automated-Bonding)がある。しかし、TABによる接続は、LSI等の極めて微弱な電流を信号としてやりとりする分野において適用されており、パワー半導体モジュールのように温度上昇による熱歪の発生の問題は無く、したがって、導体は低抵

抗化のみ考慮されるため銅が主に用いられている。

【0011】本発明は、上記のような問題点を解消するためになされたもので、温度サイクルにおけるワイヤ接合部の劣化の抑制、素子損傷による絶縁耐圧低下の防止及び製造工程の改善による歩留まりの向上並びに製造工程時間の短縮を達成できるパワー半導体モジュールの実装構造並びに実装方法を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、シリコン半導体チップ上のパッドと電極とを絶縁基板やシリコンとの熱膨張差の小さい導体によって接続すること、シリコン半導体チップ上のパッド及び電極と導体との接合を半田によって行うこと、シリコン半導体チップ上のパッドと電極とを導電性に優れ断面積の大きい導体によって接続すること、シリコン半導体チップ上のパッドと電極とを半田を用い、同一の電極に対しては1個の導体で接続すること等によって前記目的を達成する。

【0013】より具体的には、本発明は、放熱板と、放熱板上に固着された複数の電極を備える絶縁基板と、絶縁基板の電極上に固着されたシリコン半導体チップとを含み、絶縁基板のシリコン半導体チップが固着されていない電極とシリコン半導体チップ上の複数のパッドとを導体で接続して成るパワー半導体モジュールにおいて、導体とパッド及び電極とは半田によって接合され、導体は絶縁基板及びシリコンとの熱膨張率の差がいずれも $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下であることを特徴とする。

【0014】また、本発明は、放熱板と、放熱板上に固着された複数の電極を備える絶縁基板と、絶縁基板の電極上に固着されたシリコン半導体チップとを含み、絶縁基板のシリコン半導体チップが固着されていない電極とシリコン半導体チップ上の複数のパッドとを導体で接続して成るパワー半導体モジュールにおいて、導体とパッド及び電極とは半田によって接合され、導体は放熱板、絶縁基板及びシリコンとの熱膨張率の差がいずれも $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下であることを特徴とする。

【0015】導体は、低膨張率の金属と高導電性の金属とのクラッド材、低膨張率の金属と高導電性の金属との複合材、低膨張率の金属に高導電性の金属がメッキされたもの、あるいはセラミックに高導電性の金属がメタライズされたものとしてでき、一部に湾曲部を設ける等、熱歪を緩和、吸収できる形状とすることが好ましい。低膨張率の金属はMo、Wの群から選ばれた金属とすることができ、高導電性の金属はCu、Al、Au、Agの群の中から選ばれた金属とすることができ、

【0016】また、導体は、シリコン半導体チップ上の複数のパッドに接続される側が個々のパッドに対応して複数の部分に分離され、共通の電極に接続される側が一体化されている櫛状のものとしてでき、パッドの上には、Cr、Ni、AgもしくはTi、Ni、Auの3層、又はNi、Ti、Ni、Auの4層から成る金

属膜を形成することができる。

【0017】本発明によるパワー半導体モジュールの製造方法は、放熱板への絶縁基板の固着、絶縁基板の電極へのシリコン半導体チップの固着、並びに絶縁基板の電極及びシリコン半導体チップ上の複数のパッドと導体との接合をすべて半田により1回の工程で行うことを特徴とする。この製造方法においては、シリコン半導体チップ上のパッドと電極とを接続する導体として、前述のように、パッドに接続される側が個々のパッドに対応して複数の部分に分離され、共通の電極に接続される側が一体化されている櫛状の導体を用いるのが好都合である。

【0018】

【作用】パワーサイクル寿命を伸ばすためには、温度変動に伴って発生する熱歪を小さくすることが最良の解決策である。そのためには絶縁基板並びにシリコンに近い熱膨張率を持つ高導電性材料としてモリブデンやタングステンを選択するのがよい。しかし、モリブデン又はタングステンワイヤをワイヤボンディングによって接合することは、これらの金属が硬過ぎて変形させることができないため不可能である。

【0019】また、ボンディング時における素子の損傷は、ワイヤボンディングで接続する限り避けられない問題である。導体の低抵抗化を図るには、アルミニウムよりも抵抗の低い銅や貴金属である金や銀ワイヤを選択するか、さらに太いアルミニウムワイヤを用いる方法が考えられる。しかし、金や銀の使用はコスト高になるとともに、いずれのワイヤを選択しても、アルミニウムワイヤに比べ硬く、素子の損傷の発生が問題になる。

【0020】さらに、組立て工程時間の短縮及び歩留まりの向上は、ワイヤボンディングで接続する方法によるかぎり極めて困難である。以上述べたように、従来のワイヤボンディングによる接続では、前記した4つの問題点に対して解決策を見出すことは困難である。そこで、本発明では温度サイクルによるワイヤ接合部の長寿命化を図るために、ワイヤボンディングによる接続を止めて、導体として絶縁基板並びにシリコンの熱膨張率に近い、高導電性材料を半田で接合し、半導体チップが形成されているシリコン基板、絶縁基板及び放熱板の各部材間の熱膨張率を揃えた。

【0021】低膨張率の材料には、モリブデンあるいはタングステンがある。導体としてアルミニウムを用いた場合には、シリコンとアルミニウム並びに絶縁基板である Al_2N_3 とアルミニウムとの熱膨張率の差が、いずれも約 $20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であるのに対し、導体としてモリブデンやタングステンを用いた場合には、シリコン及び Al_2N_3 との熱膨張率差は約 $2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ となり、後者の熱歪量は前者の約 $1/10$ に抑えられる。

【0022】図3は、シリコン半導体チップ上のパッドに熱膨張率の異なる導体を半田で接合し、この接合部に実車を走行させた場合と同様の温度差(Δt)を繰り返し返

し与えた時の接合部の寿命を、シリコンと導体との熱膨張率の差($\Delta\alpha$)をパラメータとして示したものである。試験は、30℃の雰囲気においたチップに通電して放熱板が73℃になるまで加熱し、その後通電を止め、放熱板が30℃になるまで放熱板を水冷する工程を1サイクルとして、この工程を反復して接合部に繰り返し温度変化(温度差 $\Delta t = 43^\circ\text{C}$)を与えることによって行った。そして、導体がパッドから剥離して電流が流れなくなった時を接合部の寿命とし、それまでに与えた温度変化のサイクルの回数を計数した。この時、4500サイクルを1年として寿命を年数に換算した。従って寿命20年は、9万サイクルに相当する。

【0023】図3から、寿命はシリコンと導体との熱膨張率の差 $\Delta\alpha$ が小さいほど長くなることがわかる。導体として従来のアルミニウムワイヤを用いた場合は $\Delta\alpha$ が約 $20 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ であるため寿命は約10年であり、目標の20年には及ばないことがわかる。目標の20年を達成するには導体とシリコンの熱膨張率差 $\Delta\alpha$ を $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 以下にする必要があることがわかる。

【0024】モリブデンあるいはタングステン単体を導体として使用すると導電性に劣るので、必要な導電性は、導電性の高いCu, Al, Au, Ag等の金属と組み合わせクラッド化、複合化あるいはメッキ等を施すことで確保する。図4はモリブデンを中心に上下とも同じ厚さの銅で挟んだ導体において、モリブデンの厚さを1とした場合における銅の片側の厚さtと導体の熱膨張率 α との関係を示したものである。この図から、この構造の導体の熱膨張率を $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 以下にするには、片側の銅の厚さを1以下にすればよいことが分かる。また、モリブデンよりも熱膨張率の小さいタングステンを銅で挟めば、タングステンの厚さをモリブデンの場合よりも薄くできる。

【0025】上記の導体を半田で接続する場合、電極はニッケルメッキが施されているので半田が濡れるが、アルミニウムパッドには半田が濡れるようにメタライズを施す必要がある。アルミニウムパッドに施すメタライズ層としては、Cr/Ni/Ag, Ti/Ni/AuあるいはNi/Ti/Ni/Au層が適している。これらのメタライズ層は、一般に行われている蒸着あるいはスパッタ法で形成可能である。また、アルミニウムパッドにメタライズしないで導体を接合するには、アルミニウムパッドに接触する導体の表面にスズ膜を施し、この導体をアルミニウムパッドに接触させ加熱しアルミニウムとスズの合金を形成させればよい。

【0026】一方、モジュールの大容量化に対応するための配線抵抗の低減は、導体にアルミニウムよりも低抵抗の銅を選択し、上記の方法で接続すればよい。導体に銅を用いることにより電気抵抗を大幅に低減できるので、モジュールの電力損失を小さくでき、大容量化を図ることが可能である。また、半導体チップの損傷の問題

は、半田による接合のため起こらない。

【0027】従来の組立て工程は、絶縁基板への半導体チップの接合、ワイヤボンディングによるパッドと電極とのワイヤ接続、放熱板への絶縁基板の接合の3工程からなる。これに対して、本発明の組立て工程では、パッド及び電極と導体との接続を半田で行い、かつ、複数の半導体チップのパッドと電極とを同一の電極に対し1個の導体で接続するため、従来は3工程で行っていた組立て工程を1工程で完了することができ、作業性の向上とともに歩留まりの向上を図ることができる。

【0028】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を用いて詳細に説明する。図1及び図2により、本発明によるパワー半導体モジュールの一実施例を説明する。図1(a)はモジュールの平面図、図1(b)は側面図であり、図2は導体の接続部分を拡大して示したものである。図において、ニッケルメッキされた銅膜で形成されているコレクタ、エミッタ及びゲート電極4がAl₂N₃絶縁基板3上に設けられており、コレクタ電極上にはシリコン基板に形成された半導体チップ1が半田6によって接合されている。半導体チップ1上のCr/Ni/Ag膜9がメタライズされたアルミニウムパッド2と銅メッキ10されたモリブデン11からなる導体20、21とが半田12を介して接合され、その導体の一端はエミッタ並びにゲート電極に半田を介して接合されることにより電気的接続が成され、この絶縁基板3は半田8を介してモリブデン放熱板17に固着されている。メタライズ層9の厚さは、Cr層が0.18 μm 、ニッケル層が0.6 μm 、Ag層が1.3 μm である。導体のモリブデン板11は幅が1mm、厚さ0.5mmで、銅メッキ10の厚さは50 μm である。なお、モリブデンの代わりに、同様に低熱膨張率の金属例えばタングステンをを用いてもよい。また、導体のメッキは銅に限らず、半田で接合できる高導電性の金属、例えば金、銀等でもよい。

【0029】次に、本実施例のパワー半導体モジュールの実装方法について説明する。図5は絶縁基板3を示し、平面図(a)及び側面図(b)に示すように、銅箔にニッケルメッキした複数の電極4が銀ろうによってあらかじめ接着されている。図6は、実装に使用される黒鉛治具の説明図であり、(a)は上面図、(b)は側面図、(c)は(a)のa-a'断面図である。黒鉛治具20は、絶縁基板3及び放熱板17をその上に位置決めして載置することができるように縁部領域にストッパ31、32が設けられ、また中央部に貫通孔33が設けられている。ストッパ31、32の高さは、絶縁基板3の厚さに放熱板17の厚さを足した値にほぼ等しくした。また、貫通孔33は、絶縁基板3上に半田付けされる半導体チップ及び導体20、21の外形線を結んだ形をしている。

【0030】図1に示した半導体モジュールは、図7に

示す工程によって組立てられる。まず図7(a)の断面図に示すように、黒鉛治具30のストッパ31、32で定められた領域に電極4側を下にした絶縁基板3、絶縁基板の面積とほぼ同じ面積のSn-Pb等の半田シート23、及び放熱板17を重ねて載せる。次に、断面図(b)に示すように、その上に別の黒鉛治具35をかぶせ、治具30、35に対して絶縁基板3及び放熱板17を固定する。次いで、全体をひっくり返し、(c)に示すように、黒鉛治具30の貫通部を通して露出された絶縁基板3の電極4上に半田シートを置き、中央の電極上の定められた位置に半導体チップ1を置く。さらに半導体チップ1のパッド上に半田を載せる。次いで、導体20、21を所定位置に載置する。この時、半導体チップ1と導体20、21の間にできる隙間に別に用意した黒鉛治具36、37を挿入し、各チップ1及び導体20、21の位置がずれないように固定する。その後、(d)に示すように、半田付けされる導体20、21及び半導体チップ1の上に重り38を載せる。なお、(e)は(d)の要部拡大図である。最後に、全体を水素雰囲気

の電炉中に通し、例えば190℃で約30分間加熱することにより、放熱板17、絶縁基板3及び導体20、21を半田で同時に接合する。

【0031】本実施例によれば、導体20、21の熱膨張率は $6.1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であり、導体とシリコンとの熱膨張率差は $2.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、導体と Al_2N_3 との熱膨張率差は $1.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ と、いずれも $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下であるため、温度サイクルにおいて接合部に発生する熱歪を小さくでき、モジュールの長寿命化を図ることができる。また、アルミニウムパッドとエミッタ並びにゲート電極との接続が一体型の導体で行われるため、半田付けの作業性に優れている上に導体のパッドへの接続、半導体チップの絶縁基板上への固着並びに絶縁基板の放熱板への固着を1回の半田付け工程で行うことができ、組立て工程時間の短縮及び歩留まり向上が図れる。

【0032】図8に、導体接合部の他の実施例を示す。図示したのは、 Al_2N_3 絶縁基板3上にシリコン基板に形成された半導体チップ1が搭載され、この半導体チップ上のアルミニウムパッド2と絶縁基板上の電極4とがモリブデン11を中心に銅13が上下にクラッドされた導体で接続された構造である。 $\text{Cr}/\text{Ni}/\text{Ag}$ の蒸着膜層9がメタライズされたアルミニウムパッド2上に、モリブデン11を中心に上下を銅13で挟んだクラッド材の導体が半田を介して接合されている。メタライズ層9の厚さは、Cr層が $0.18 \mu\text{m}$ 、Ni層が $0.6 \mu\text{m}$ 、Ag層が $1.3 \mu\text{m}$ である。導体のモリブデン11は幅が1mm、厚さ 0.3mm で、銅13の厚さは上下それぞれ 0.1mm である。モジュールの組立ては前記実施例と同様の方法で行い、パッド上にSn-Pb半田シート12を置き、その上に導体を重ね合わせた後、水

素雰囲気中で加熱して接合した。

【0033】本実施例によれば、導体20、21の熱膨張率は $7.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であり、導体とシリコンとの熱膨張率の差は $4.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、導体と Al_2N_3 との熱膨張率の差は $3.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ と、いずれもと $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下であり、温度サイクルにおける熱歪を小さくできるためモジュールの長寿命化が図れ、かつ、低抵抗の銅とクラッドされているので配線抵抗が低下し、モジュールの電力損失を小さくできることにより、大容量化を図ることが可能である。なお、中心の導体はモリブデンに限らず、低熱膨張率の他の金属例えばタングステンでもなんら問題がない。また、クラッドする金属は銅に限定されず高導電性の銀、金あるいはニッケルでもよい。

【0034】図9に、導体接合部の他の実施例を示す。図示したのは、 Al_2N_3 絶縁基板3上にシリコン基板に形成した半導体チップ1が搭載され、この半導体チップ上のアルミニウムパッド2と絶縁基板上の電極4とがモリブデンと銅との複合材14の導体で接続された構造である。複合材14は、モリブデン30～50重量%、残部銅の組成を有し、平均粒径 $4 \mu\text{m}$ のモリブデンを金型に入れて $5 \text{t}/\text{cm}^2$ の圧力を加えて $1400 \sim 1500^\circ\text{C}$ に加熱してモリブデン焼結体を形成し、そのモリブデン焼結体に平均粒径 $1 \mu\text{m}$ の銅粉をからめ、水素雰囲気中で 1100°C に加熱して銅をモリブデン中に含浸して形成した。この複合材14の熱膨張率は $8 \sim 10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であった。複合材14からなる導体は、 $\text{Cr}/\text{Ni}/\text{Ag}$ の蒸着膜層9がメタライズされたアルミニウムパッド2上に、半田12を介して接合した。

【0035】本実施例によれば、導体とシリコンとの熱膨張率の差は $4.5 \sim 6.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、導体と Al_2N_3 との熱膨張率の差は $3.6 \sim 5.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ と、いずれも $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下であるため、温度サイクルにおいて接合部に発生する熱歪を小さくでき、モジュールの長寿命化を図ることができる。また、導体を構成する複合材は、モリブデンと銅との複合材に限定されず、低熱膨張の金属と高導電性との複合材、例えばモリブデンと銅、タングステンと銅、モリブデンあるいはタングステンと銀の複合材でもよい。

【0036】図10に、導体接合部の他の実施例を示す。図示したのは、 Al_2N_3 絶縁基板3上にシリコン基板に形成した半導体チップ1が搭載され、この半導体チップ上のアルミニウムパッド2と絶縁基板上の電極4とが銅メッキ10された Al_2N_3 セラミック16からなる導体で接続された構造である。 $\text{Cr}/\text{Ni}/\text{Ag}$ の蒸着膜層9がメタライズされたアルミニウムパッド2上に、 Al_2N_3 セラミック16を中心に周囲を銅メッキ10で覆ってなる導体が半田12を介して接合されている。

【0037】本実施例によれば、導体の中心に熱膨張率が $4.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ と極めて小さい Al_2N_3 セラミッ

クがあり、かつ高導電性の銅がメッキされているため、導電性を損なうことなく温度サイクルにおける熱歪を小さくできるため長寿命化を図ることができる。なお、 Al_2N_3 に代えて他のセラミック、例えばアルミナを用いても同様の効果が得られる。

【0038】図11及び図12は、本発明によるパワー半導体モジュールの他の実施例を示すものである。図11(a)はモジュールの平面図、図11(b)は側面図であり、図12は導体の接続部分を拡大して示したものである。この実施例では、導体とアルミニウムパッドの接合を半田ではなくスズとアルミニウムとの拡散によって行う。

【0039】本実施例のパワー半導体モジュールにおいては、ニッケルメッキされた銅膜で形成されているコレクタ、エミッタ及びゲート電極4が Al_2N_3 絶縁基板3上に設けられており、コレクタ電極上には半田6で半導体チップ1が接合されている。半導体チップ1上のアルミニウムパッド2と銅メッキ10されたモリブデン11からなる導体とが $Al-Sn$ 化合物層15により接合され、その導体の一端はエミッタ並びにゲート電極に半田を介して接合されて電気的接続が成され、この絶縁基板3は半田6を介してモリブデン放熱板17に固着されている。銅メッキ10の厚さは $50\mu m$ 、モリブデン11は幅 $1mm$ で厚さが $0.5mm$ である。接合は、銅メッキされたモリブデンからなる導体の、少なくともアルミニウムパッド2と接触する部分に厚さ $10\mu m$ の Sn メッキを施し、この導体をアルミニウムパッドに押し当て $250^\circ C$ 程度に加熱する方法で行った。

【0040】本実施例によれば、モリブデンの熱膨張率が $5.2 \times 10^{-6}/^\circ C$ と極めて小さいため、銅メッキを施してもシリコンとの熱膨張率の差は $2.6 \times 10^{-6}/^\circ C$ 、 Al_2N_3 との熱膨張率の差は $1.7 \times 10^{-6}/^\circ C$ と、いずれも $10 \times 10^{-6}/^\circ C$ 以下である。その結果、温度サイクルにおいて接合部に発生する熱歪を小さくでき、モジュールの長寿命化を図ることができる。また、アルミニウムパッドとエミッタ並びにゲート電極との接続が一体型の導体で構成されているため、半田付けの作業性に優れている上に導体のパッドへの接続、半導体チップの絶縁基板上への固着並びに絶縁基板の放熱板への固着が1回の半田付け工程で行うことができ、組立て工程時間の短縮及び歩留まり向上が図れる。

【0041】

【発明の効果】低抵抗の金属と低膨張率の材料とを組合

せたシリコン基板並びに絶縁基板との熱膨張率の差が小さい導体で電気的接続が成されているため、電気抵抗が下がり、かつ温度サイクル負荷時の熱歪の発生を抑制できることにより、接合部の長寿命化が図れ、また、アルミニウムパッドとエミッタ並びにゲート電極との接続が一体型の導体で構成されているため、半田付けの作業性に優れている上に導体のパッドへの接続、半導体チップの絶縁基板上への固着並びに絶縁基板の放熱板への固着が1回の半田付け工程で行うことができ、組立て工程時間の短縮及び歩留まり向上が図れるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるパワー半導体モジュールの一実施例を示す平面図及び側面図。

【図2】図1の導体接続部分の拡大図。

【図3】シリコン及び Al_2N_3 絶縁基板と導体の熱膨張率の差と寿命との関係図。

【図4】モリブデンを銅で挟んだ導体の熱膨張率をモリブデンと銅との厚さの比で示した図。

【図5】絶縁基板の説明図。

【図6】モジュールの実装に用いる黒鉛治具の説明図。

【図7】本発明によるパワー半導体モジュールの実装方法の説明図。

【図8】導体としてモリブデンと銅とのクラッドを用いた実施例を示す図。

【図9】導体としてモリブデンと銅との複合体を用いた実施例を示す図。

【図10】導体として銅メッキを施した Al_2N_3 を用いた実施例を示す図。

【図11】本発明によるパワー半導体モジュールの他の実施例を示す平面図及び側面図。

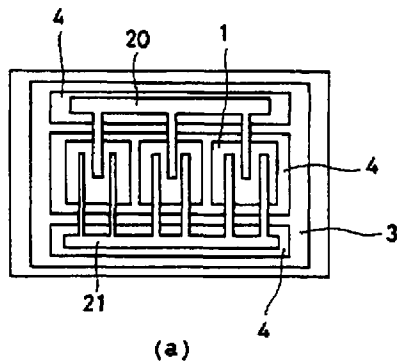
【図12】図11の導体接続部分の拡大図。

【図13】従来のパワー半導体モジュールの構造図。

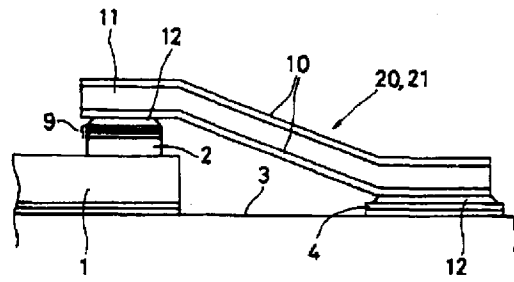
【符号の説明】

1：半導体チップ、2：電極パッド、3： Al_2N_3 絶縁基板、4：外部電極、5：アルミニウムワイヤ、6：半田、7：放熱板、8：半田、9： $Cr-Ni-Ag$ 層、10：銅メッキ、11：モリブデン、12：半田、13：銅クラッド、14：銅とモリブデンの複合材、15： $Sn-Al$ 化合物、16： Al_2N_3 セラミック、17：モリブデン放熱板、20、21：導体、30：黒鉛治具、31、32：ストッパ、33：貫通孔、38：重り

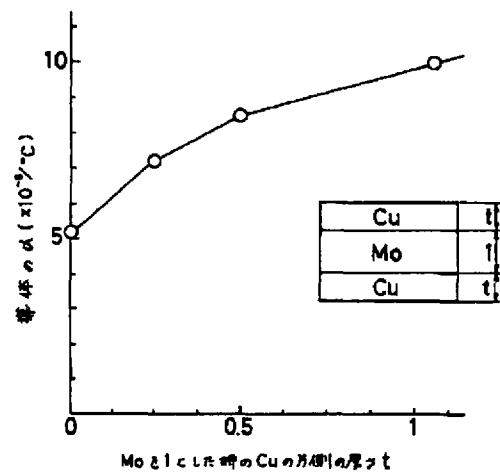
【図1】



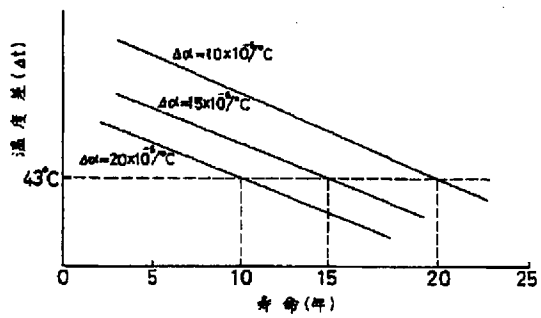
【図2】



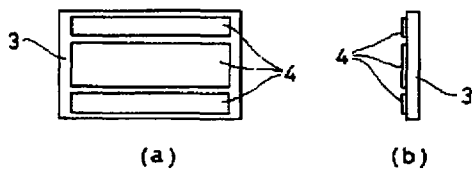
【図4】



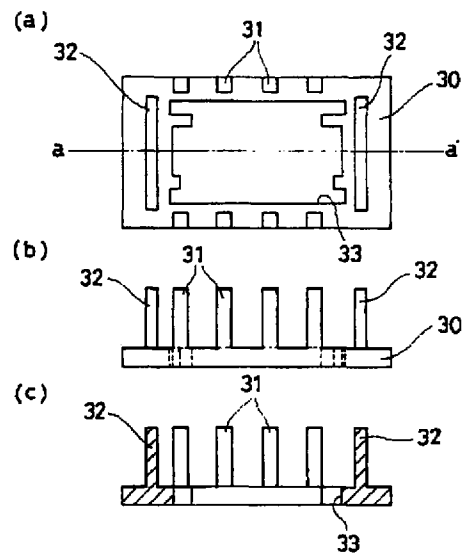
【図3】



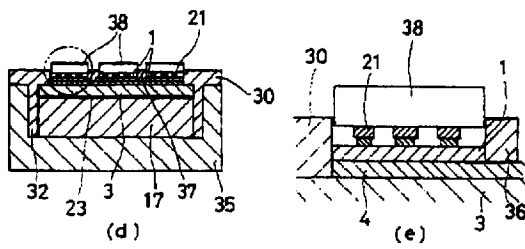
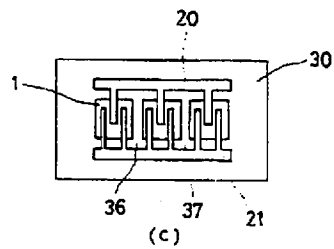
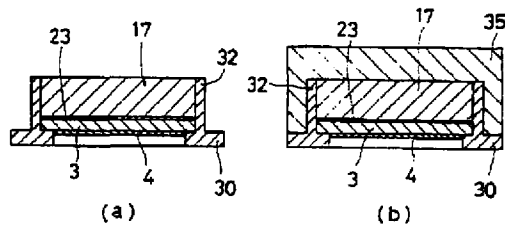
【図5】



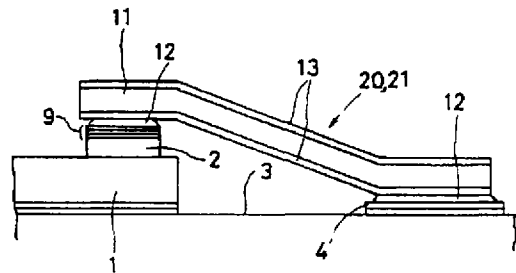
【図6】



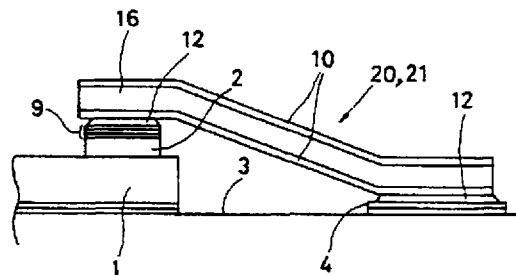
【図 7】



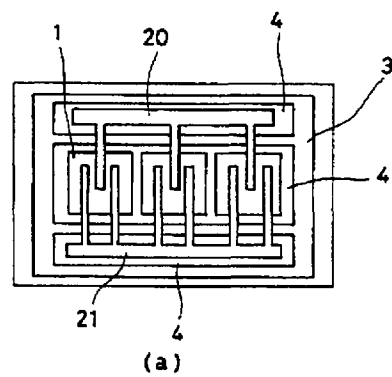
【図 8】



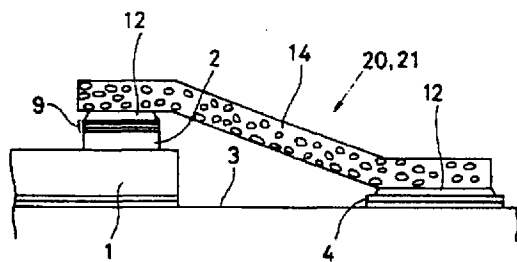
【図 10】



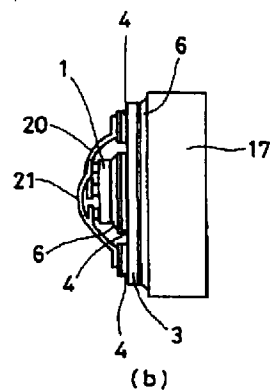
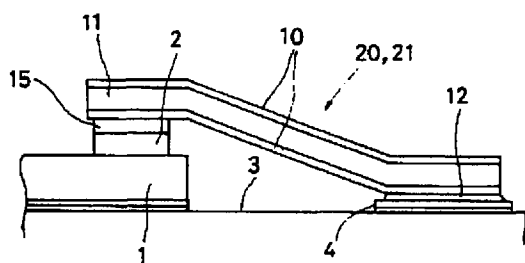
【図 11】



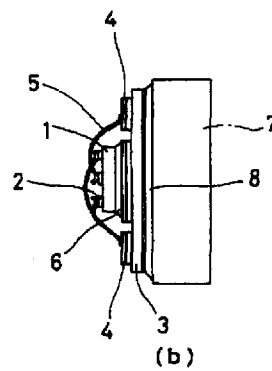
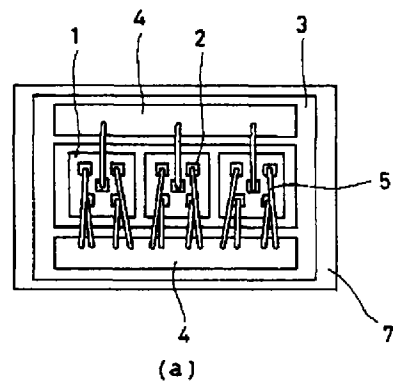
【図 9】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(72)発明者 高橋 敏幸

茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株
式会社日立製作所日立研究所内